

＜基本計画書＞

狭空間における周波数稠密利用のための周波数有効利用技術の研究開発

1. 目的

本格的な IoT 時代が到来し、製造、農業、流通、インフラなど様々な分野で IoT が利用されている。例えば、製造業の工場においては、製品の品質維持・管理等のため、ロボット、機械、工具などにセンサー等の IoT 機器を取り付け、機器や機械の稼働状況の把握や制御、作業の品質管理等が行われ始めており、一つの狭空間における無線システムの数は千以上に達している。一方で、工場内の狭い空間では IoT 機器間の電波の輻輳、産業機械が動作することによる雑音、電波遮蔽、運搬装置・無線システムの移動に伴う電波環境の変化等により、安定した通信を維持できなくなるなど、IoT の導入に向けた課題となっている。

また、こうした課題は、工場だけでなく、倉庫や病院、オフィス・テナントビルといった施設内の狭空間において、様々な IoT 機器がネットワークに接続され、多様かつ大容量の情報をやり取りするようになった場合にも発生する課題であり、狭空間における周波数の稠密利用を可能とする技術を確立し、狭空間でも安定した通信を実現することが求められている。

そのため、本研究開発では、工場等の多数の IoT 機器の導入が想定される狭空間における周波数の管理・最適化技術や狭空間における無線環境学習・分析・予測技術等を確立するとともに、それら技術を検証するための実証環境を構築する。

2. 政策的位置付け

- ・「電波政策 2020 懇談会報告書」(平成 28 年 7 月 15 日)
「第3章. 3. (2)② 次期における電波利用料の用途」において、「周波数のひっ迫や混信を回避し、IoT の超多数同時接続、超低遅延化に対応するため、(中略)異なる電波利用システム間の混信を排除して周波数の共同利用を促進する技術の研究開発を実施することが必要である」旨が記載されている。
- ・「新たな情報通信技術戦略の在り方 第2次中間答申」(平成 28 年 7 月 7 日)
「第4章. 第1節. III. (1) 公共・産業分野の先端 IoT を実現する社会的、産業的重要性」においては、「ファクトリーオートメーションの分野において、生産ラインを構成する製造設備をネットワークに接続し、IoT の導入により稼働状況を管理、制御することで、プロセス革新を図る取組が推進されている」旨が記載されている。
- ・「日本再興戦略 2016」(平成 28 年 6 月 2 日 閣議決定)
「第2. I. 1. (2) i) エ」において、「2020 年までに、センサー等で収集したデータを、工場間、工場と本社間、企業間など組織の枠を越えて活用する先進事例を 50 件以上創出し、国際標準を提案する。また、本年4月に共同声明を発出したドイツをはじめ、各国との連携を一層強化する」旨が記載されている。
- ・「科学技術イノベーション総合戦略 2016」(平成 28 年 5 月 24 日 閣議決定)

「第2章(1)Ⅲ. i)新たなものづくりシステム」において、「我が国では、摺り合わせ型の設計・生産スタイルと現場の迅速な対応力を武器に競争力のある製品を提供してきた。この強みを一層強化するため、各現場における問題を、サイバー空間を活用して設計・生産にフィードバックする技術、及び、各現場の対応を模擬するシミュレーション技術(製造機器動作、部品製造シミュレーター等)の開発を行う」旨が記載されている。

3. 目 標

工場等の狭空間における膨大な IoT 機器等の安定的な通信を支える無線通信技術として、狭空間における無線環境の監視による複数の周波数の動的な管理技術、無線環境全体の最適化を考慮しつつ用途の異なる無線システム間の無線通信の最適化を可能にする技術、無線環境の学習・分析・予測技術等を確立し、これら複数の技術を組み合わせることで、3倍以上の周波数利用効率向上を目指すとともに、それら技術を検証するための実証環境を構築する。

4. 研究開発内容

(1)概要

本研究開発では、工場内等の狭空間において千以上の無線システムが利用され、IoT 機器等の移動などにより電波伝搬環境が刻々と変化する環境を想定し、狭空間において無線センサーシステム(920MHz 帯等)や無線 LAN システム(2.4GHz 帯等)をはじめとする多種多様な無線システムをシステム間の独立性を担保しながら利用できるよう、限られた電波資源を最大限に有効利用しながら、動的に周波数を管理する技術、高効率かつ高精度に無線環境を監視する技術、狭空間における無線環境を考慮した上で無線システム間の輻輳を回避し、最適化する技術、無線環境学習・分析・予測技術等を確立するとともに、それら技術を検証するための実証環境を構築するため、以下の区分により研究開発を実施する。

- ア 狭空間における周波数の管理・最適化技術の確立
- イ 狭空間における無線環境学習・分析・予測技術の確立
- ウ 狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証

なお、各技術の開発にあつては、各区分の研究成果を周波数有効利用技術として統合して研究開発目標を達成するため、本研究開発全体の取りまとめを行う実施者を定めるとともに、各区分の研究開発実施者は相互に連携・協力して研究開発を実施する。

更に、これらの研究開発成果を広く展開することで、IoT による狭空間の通信システム管理技術の早期の社会実装にも寄与するため、国内および海外の動向を調査し、実用化や狭空間におけるエリアネットワークを対象とする国際標準化を目指した取組を推進する。

(2)技術課題および到達目標

- ア 狭空間における周波数管理・最適化技術

技術課題

工場等においては、施設内を頻繁に移動するロボット等の様々な機器を正確に制御す

ることや、多数の機器に取り付けられたセンサーからの情報を効率的に収集・分析すること等が求められており、頻繁なロボット等の機器配置の移動やセンサーの数の増加に追従するためには、無線による通信を選択する必要がある。そのような工場等の狭空間においては、複数方式の無線システムおよび無線機器が多数存在することにより電波の輻輳が発生し、大幅なスループットの低下や通信の途絶が発生するという課題があり、機器等の頻繁な移動等により時々刻々と変化する無線環境を考慮した上で、無線システム間の輻輳を回避し、狭空間内全体の無線通信を最適化し、個々のアプリケーションに応じた許容遅延時間内で安定した通信を可能とする無線システムが必要である。

このため、工場等の様々な狭空間で利用される 920MHz 帯、2.4GHz 帯、5GHz 帯、60GHz 帯の周波数を利用する無線システムを管理・制御するため、狭空間における無線環境情報を収集し、無線システムの利用周波数やデータの送受信を管理し、無線システム間の無線通信を最適化する以下の技術を確立する。

- ・狭空間内における複数周波数の動的な管理技術
- ・狭空間内の様々な電波伝搬やその変化に応じた無線環境情報の収集・分析による監視技術
- ・狭空間内におけるアクティブセンシングのための空中線利得、空中線指向性可変技術
- ・複数の無線システムや個々のアプリケーションに応じた無線端末等の送信タイミングや送信パターン、周波数切り替え等の制御による輻輳回避技術

到達目標

工場等の狭空間において利用可能な複数の周波数帯(920MHz 帯、2.4GHz 帯、5GHz 帯、60GHz 帯の中から少なくとも2つ以上の周波数帯)について、各周波数帯における周波数帯域使用率、送受信電界強度、データパケット損失といった周波数管理に必要な無線環境情報を少なくとも3つ以上収集し、それぞれの無線システムの周波数の利用状況を動的に監視し、収集された無線環境情報を基に端末とも連携しながら安定かつ円滑な通信環境が保たれるよう、狭空間内全体の通信状態の管理・制御を可能とする。

また、狭空間内での機器の移動等に伴う無線環境の空間的・時間的な変化等にも対応し、狭空間において利用される複数の用途の異なる無線システム間の輻輳を回避し、無線通信の最適化を可能とする。

以上の技術を確立し、周波数の利用帯域の削減およびデータ送信の再送を削減する相乗効果により周波数利用効率について3倍以上の向上を実現する。

イ 狭空間における無線環境学習・分析・予測技術の確立

技術課題

工場等の狭空間においては機器の移動等が頻繁に発生し、電波伝搬に影響を及ぼす構造物や周辺環境が時々刻々と変化する。また、これら設備や機器に設置されるセンサー類は多種類かつ膨大であり、用途等に応じて異なる周波数や通信方式を利用している。このような状況で、効率的かつ安定的な無線通信を可能とするためには、狭空間における適切な場所から無線環境情報を収集し、またその情報を活用して狭空間の無線環境を推定して任意の場所・時刻における無線環境を分析・予測することで、最適な制御を自動で行う、

もしくは、現場ユーザが制御前後でどのような変化が起こるかを理解して切り替えを行う必要がある。

更に複数の周波数を同時に利用出来るようにするため、独立した無線システムに対して最適な周波数割当等を周波数管理技術により動的に行えるよう狭空間の周波数特性や電波伝搬特性を推定する必要があることから、無線環境の分析・予測技術のため無線環境のモデル構築を行う技術および電波伝搬特性の分析・予測のために狭空間から取得した複数の無線環境情報を学習し、より具体的な推定を行うためその学習結果を分析・予測手法にフィードバックする無線環境学習技術が必要である。

加えて、工場等の機器の頻繁な移動等に対応するため、施設管理者等の現場ユーザが、適切な無線機器やセンサーの配置や問題発生リスクが高い場所を特定し、迅速に問題解決に対応出来るよう、分析・予測結果が分かりやすいものとなるよう、ユーザビリティを工夫する必要がある。

そのため、課題アに記した周波数監視技術および管理技術によって収集された狭空間の無線環境情報から、無線環境を学習および分析し、狭空間内の任意の場所・時刻における無線環境の予測を行い、その結果の可視化を行うことにより、限られた電波資源を有効に活用しつつ動的な無線通信制御を行うため、以下の技術を確立する。

- ・無線環境分析・予測技術
- ・無線環境の予測・制御のための無線環境シミュレーションモデルを生成する技術
- ・無線環境の分析・予測精度向上のための実際の無線環境情報の学習技術
- ・無線の専門家でない現場ユーザのために意思決定支援のためのシミュレーションを行い、その結果を可視化するシミュレーション基盤技術

到達目標

課題アに記した周波数監視技術および管理技術によって収集された少なくとも3施設以上の実際の狭空間の無線環境情報(ロボット・機器等の動作・移動等による電波伝搬の変化により発生するデータパケット損失や受信電界強度等)に基づき、無線環境を学習および分析し、狭空間内の任意の場所・時刻における無線環境の予測を行う技術および、この予測に基づいた無線システムの管理・制御を行うためのコンピューターシミュレーションモデルを少なくとも1つ以上確立する。

更に、狭空間における電波伝搬のコンピューターシミュレーションに対して、無線の専門家ではない現場ユーザが機器の移動等に伴う無線機器の設置場所変更、通信方式の変更等が容易に実施出来るよう、狭空間内における受信電界強度の時間変動や無線接続の安定性、通信の混雑度等を可視化する技術を確立する。

ウ 狭空間対応型無線システム高機能実証型環境の構築・実証

技術課題

課題アの周波数監視技術および管理制御技術等を取り入れた新たな無線システムを実際の狭空間に導入する際にはその無線システムの動作保証・評価のほか、既に他の無線システムが運用されている狭空間に導入する際には、それらの無線システム同士が相互に及ぼす影響を評価し、それぞれの無線システムが安定動作することを確認することが必要

である。

そのため、課題アにより開発された無線システムを狭空間に導入することを想定し、新設する無線システムの動作保証や評価、新設する無線機器が既設の他の無線機器に対して及ぼす影響および受ける影響の評価を行うため、以下の技術を確立する。

- ・無線システムの性能評価を定量的に評価する試験環境構築技術
- ・工場内に新設する無線システムが、既設の他の無線システムと互いに及ぼし合う影響を確認する工場内機器エミュレーション技術

到達目標

特定の狭空間環境下における無線システムの性能評価を実現するため、少なくとも1つ以上の実際の狭空間において収集された無線環境情報およびその情報から生成されたモデルを用いて、対象となる無線環境を再現するためのエミュレータを構築する。なお、エミュレータの構築に当たっては、狭空間で利用される少なくとも1つ以上のアプリケーションを想定し、電波の反射、通信の混雑、データパケットの損失や受信電界強度の低下等が発生しても、課題アにより開発された無線システムが安定動作可能であること確認する環境を実現する。

なお、上記課題ア、イ、ウの目標を達成するにあたっての毎年度の目標については、以下に例示するが、提案する研究計画に合わせて設定すること。

(例)

<平成 29 年度>

ア 狭空間における周波数の管理・最適化技術の確立

- ・複数周波数の管理を可能とする無線プラットフォーム技術
- ・周波数およびその利用率の監視を可能とするセンシング技術の開発
- ・用途の異なる複数の無線システム間の輻輳回避を可能とする通信制御技術の開発

イ 狭空間における無線環境学習・分析・予測技術の確立

- ・局所空間の無線環境情報を用いた無線環境学習・分析・予測技術の開発
- ・無線環境の予測・制御を可能とする無線環境シミュレーションモデル生成技術の検討
- ・シミュレーション結果の可視化を可能とするシミュレーション基盤技術の検討

ウ 狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証

- ・工場内の新旧無線システム同士の相互作用の検証を可能とするエミュレーション技術の開発
- ・工場内機器と無線伝搬環境が受ける影響の相互作用の検証を可能とするエミュレーション技術の開発
- ・無線システムの性能評価を可能とする試験環境構築技術の検討

<平成 30 年度>

ア 狭空間における周波数の管理・最適化技術の確立

- ・複数周波数の管理を可能とする無線プラットフォーム技術の検証および改良

- ・狭空間における周波数監視システムの検証および改良
- ・複数無線システム間の輻輳回避技術の検証および改良
- イ 狭空間における無線環境学習・分析・予測技術の確立
 - ・無線環境学習・分析・予測技術の検証および改良
 - ・無線環境シミュレーション技術の開発
 - ・シミュレーション基盤技術の開発
- ウ 狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証
 - ・工場内機器エミュレーション技術の検証および改良
 - ・無線環境エミュレーション技術の検証および改良
 - ・試験環境構築技術の開発

〈平成 31 年度〉

- ア 狭空間における周波数の管理・最適化技術の確立
 - ・狭空間における周波数監視・管理・制御技術の検証
 - ・狭空間における周波数監視・管理・制御システムの統合
- イ 狭空間における無線環境学習・分析・予測技術の確立
 - ・無線環境学習・分析・予測技術の統合およびその評価
 - ・無線環境シミュレーション技術の検証
 - ・シミュレーション基盤技術の検証
- ウ 狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証
 - ・工場内機器エミュレーション技術と無線環境エミュレーション技術の統合実装および部分統合検証
 - ・試験環境構築技術の検証および統合実験を可能にする技術

〈平成 32 年度〉

- ア 狭空間における周波数の管理・最適化技術の確立
 - ・狭空間における周波数管理技術の統合試験技術およびその検証
 - ・狭空間における周波数監視・輻輳回避技術のシステム統合の実装および検証
- イ 狭空間における無線環境学習・分析・予測技術の確立
 - ・無線環境学習・分析・予測技術と無線環境エミュレータとの統合技術および検証
 - ・無線環境シミュレーション技術およびシミュレーション基盤技術のシステム統合を可能にする技術および検証
- ウ 狭空間対応型無線システム高機能実証環境の構築・実証
 - ・工場内機器エミュレーション技術および無線環境エミュレーション技術の統合検証
 - ・試験環境構築技術のシステム統合の検証

5. 研究開発期間

平成 29 年度から 32 年度までの4年間

6. その他 特記事項

(1) 成果の普及展開に向けた取組等

① 国際標準化等への取組

国際競争力の強化を実現するためには、本研究開発の成果を研究期間中および終了後、戦略的に関連する国際標準化規格・機関・団体へ提案を実施することが重要である。このため、研究開発の進捗に合わせて、国際標準への提案活動を行うものとする。なお、提案を想定する国際標準規格・機関・団体および具体的な標準化活動の計画を策定した上で、提案書に記載すること。

② 実用化への取組

研究開発終了後も引き続き取り組む予定の「本研究開発で確立した技術の普及啓発活動」および平成37年度までの実用化・製品展開等を実現するために必要な取組を図ることとし、その活動計画・実施方策については、提案書に必ず具体的に記載すること。なお、研究開発を進めるに当たっては、基礎検討、研究・開発、市場への適応を並行して進め、研究開発成果を順次実用化するなど成果の早期展開を進めること。

③ 研究開発成果の情報発信

本研究開発で確立した技術の普及啓発活動を実施すると共に、総務省が別途指定する成果発表会等の場において研究開発の進捗状況や成果について説明等を行うこと。

(2) 提案および研究開発に当たっての留意点

- ① 提案に当たっては、基本計画書に記されている目標に対する達成度を評価することが可能な具体的な評価項目を設定し、各評価項目に対して可能な限り数値目標を定めること。また、従来の技術との差異を明確にした上で、技術課題や周波数利用効率等の到達目標の達成に向けた前提条件、達成までの根拠やモデル、研究方法、実用的な成果を導出するための実施計画および年度目標について具体的に提案書に記載すること。
- ② 研究成果が様々なユーザにとって利用可能なものとなるよう、目標の達成に向けた適切な研究成果の取扱方策(研究開発課題の分野の特性を踏まえたオープン・クローズ戦略を含む)を提案書に記載すること。
- ③ 複数機関による共同研究を提案する際には、研究開発全体を整合的かつ一体的に行えるよう参加機関の役割分担を明確にし、研究開発期間を通じて継続的に連携するための方法について具体的に提案書に記載すること。
- ④ 本研究開発は総務省施策の一環として取り組むものであることから、総務省が受託者に対して指示する、研究開発に関する情報および研究開発成果の開示、関係研究開発プロジェクトとのミーティングへの出席、シンポジウム等での研究発表、共同実証実験への参加等に可能な限り応じること。また、IoT の産学官による推進団体であるスマート IoT 推進フォーラムとも必要に応じて連携を図ること。
- ⑤ 研究開発の実施に当たっては、関連する要素技術間の調整、成果の取りまとめ方等、研究開発全体の方針について幅広い観点から助言を頂くとともに、実際の研究開発の進め方について適宜指導を頂くため、学識経験者、有識者等を含んだ研究開発運営委員会等を開催する等、外部の学識経験者、有識者等を参画させること。また、情報通信審議会、総務省における各種検討会等の議論を踏まえながら研究開発を進めること。

- ⑥ 研究開発の実施にあたり不明点がある場合は、本研究開発の担当課室まで問い合わせること。

(3) 人材の確保・育成への配慮

- ① 研究開発によって十分な成果が創出されるためには、優れた人材の確保が必要である。このため、本研究開発の実施に際し、人事、施設、予算等のあらゆる面で、優れた人材が確保される環境整備に関して具体的に提案書に記載すること。
- ② 若手の人材育成の観点から行う部外研究員受け入れや招へい制度、インターンシップ制度等による人員の活用を推奨する。また、可能な限り本研究開発の概要を学会誌の解説論文で公表するなどの将来の人材育成に向けた啓発活動についても十分に配慮すること。これらの取組予定の有無や計画について提案書において提案すること。